

**VIBRATION ELEMENT AND METHOD FOR USING AND MANUFACTURING VIBRATION ELEMENT**

**Publication Number:** 07-333077 (JP 7333077 A) , December 22, 1995

**Inventors:**

- TSUBOI OSAMU

**Applicants**

- FUJITSU LTD (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

**Application Number:** 06-128846 (JP 94128846) , June 10, 1994

**International Class (IPC Edition 6):**

- G01L-001/10
- G01L-009/00

**JAPIO Class:**

- 46.1 (INSTRUMENTATION--- Measurement)

**JAPIO Keywords:**

- R005 (PIEZOELECTRIC FERROELECTRIC SUBSTANCES)

**Abstract:**

**PURPOSE:** To provide a vibration element which can expand a detectable pressure range and operable pressure range to a high-pressure side without reducing sensitivity when detecting the pressure of a gas and the distortion of an object by applying the micro machine technology.

**CONSTITUTION:** The title item is provided with a substrate 1, a lower electrode 3 being provided on the substrate 1, an upper electrode 4 which opposes the lower electrode 3 via a space 5 and has a through hole 4a and where both edge parts are fixed to the substrate 1, a drive means for vibrating the upper electrode 4, and a detection means for detecting the amplitude or frequency of the vibration of the upper electrode 4. This configuration relatively reduces the amount of gas which flows inside the space 4 and is given to the vibration of the upper electrode 4 and reduces the influence of viscosity of gas for the vibration of the upper electrode 4.

**JAPIO**

© 2005 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.  
Dialog® File Number 347 Accession Number 5040477

03-813 W000

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-333077

(43) 公開日 平成7年(1995)12月22日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 1/10	Z			
9/00	C			

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 10 頁)

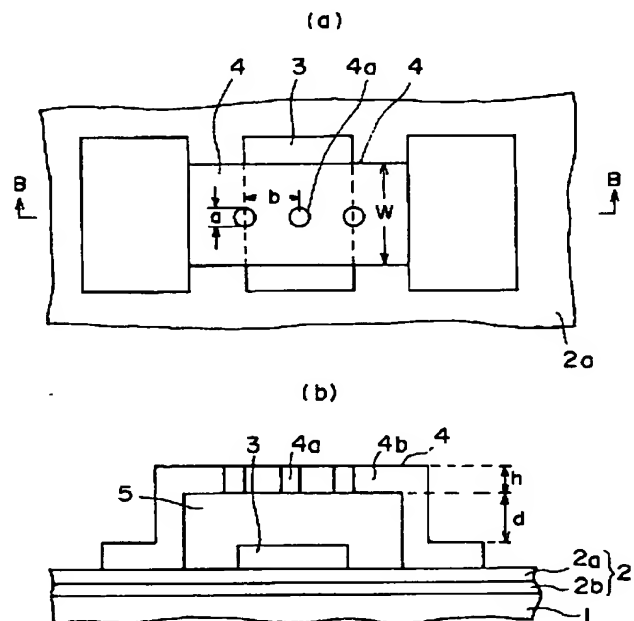
(21) 出願番号	特願平6-128846	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
(22) 出願日	平成6年(1994)6月10日	(72) 発明者	壺井 修 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 岡本 啓三

(54) 【発明の名称】 振動素子、振動素子の使用方法及び振動素子の製造方法

(57) 【要約】

【目的】 マイクロマシン技術を応用して気体の圧力や物体の歪を検出するために利用される振動素子に関し、感度を低下させることなく、検出可能な圧力範囲及び動作可能な圧力範囲を高圧側に広げる。

【構成】 基板1と、基板1上に配設された下部電極3と、下部電極3上に空隙5を介して対向し、両端部が前記基板1に固定された、貫通孔4aを有する上部電極4と、上部電極4を振動させる駆動手段と、上部電極4の振動の振幅または周波数を検出する検出手段とを有する。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】 基板と、

前記基板上に形成された下部電極と、  
前記下部電極上に空隙を介して対向し、両端部が前記基板に固定された、貫通孔を有する上部電極と、  
前記上部電極を振動させる駆動手段と、  
前記上部電極の振動の振幅または周波数を検出する検出手段とを有することを特徴とする振動素子。

【請求項 2】 前記貫通孔の平面形状は、円形、楕円形、方形又はこれらの組み合わせであることを特徴とする請求項 1 に記載の振動素子。

【請求項 3】 前記上部電極における前記貫通孔の配置は、千鳥状、格子状、環状又は放射状であることを特徴とする請求項 1 に記載の振動素子。

【請求項 4】 前記上部電極の材料は、多結晶シリコン、単結晶シリコン、ポリサイド、高融点金属又は銅であることを特徴とする請求項 1 に記載の振動素子。

【請求項 5】 前記駆動手段と前記検出手段により誘導型発振回路が構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の振動素子。

【請求項 6】 前記下部電極は、前記駆動手段に接続された駆動電極と、前記検出手段に接続された検出電極とに分離していることを特徴とする請求項 1 に記載の振動素子。

【請求項 7】 前記駆動手段は前記下部電極と前記上部電極間に一定の周期で変動する電圧を印加する手段であり、前記検出手段は前記下部電極と前記上部電極間に直流電圧を印加して前記振動による電流を検出する手段であることを特徴とする請求項 6 に記載の振動素子。

【請求項 8】 請求項 5 記載の誘導型発振回路により前記上部電極の機械的振動と電氣的振動を共振状態にして前記上部電極の振動の振幅又は周波数を検出することを特徴とする振動素子の使用方法。

【請求項 9】 前記請求項 7 に記載の振動素子を用い、前記検出手段により前記検出電極に流れる電流値の変動を検出し、前記駆動手段により前記検出手段が検出した電流値の変動の周期に対応して変動する電圧を前記駆動電極に印加して前記上部電極の機械的振動と電氣的振動を共振状態にし、前記上部電極の振動の振幅又は周波数を検出することを特徴とする振動素子の使用方法。

【請求項 10】 前記請求項 7 に記載の振動素子を用い、前記駆動手段により一定の周期で変動する電圧を前記駆動電極に印加し、前記検出手段により前記検出電極に流れる電流値の変動を検出して、前記上部電極の振動の振幅又は周波数を検出することを特徴とする振動素子の使用方法。

【請求項 11】 前記駆動手段により前記一定の周期で変動する電圧に直流電圧を重ねることを特徴とする請求項 8、請求項 9 又は請求項 10 のいずれかに記載の振動素子の使用方法。

【請求項 12】 前記検出手段が検出した前記上部電極の振動の振幅又は周波数から前記上部電極の周囲の気体の粘性率を導出し、前記粘性率に基づいて前記上部電極の周囲の気体の圧力を求めることを特徴とする圧力検出方法。

【請求項 13】 前記検出手段が検出した前記上部電極の振動の振幅または周波数から前記上部電極の応力を導出し、前記応力から前記基板或いは前記基板が設置された被測定体の歪みを求めることを特徴とする歪み検出方法。

【請求項 14】 基板上に下部電極を形成する工程と、前記下部電極を被覆して前記基板上に犠牲膜を形成する工程と、  
前記犠牲膜をパターニングして、前記下部電極上及びその周辺部に前記犠牲膜を残す工程と、  
前記犠牲膜を被覆して前記基板上に導電層を形成する工程と、  
前記導電層をパターニングして、前記下部電極と対向し、両端部が前記基板と接する上部電極を形成するとともに前記上部電極に貫通孔を形成する工程と、  
前記犠牲膜をエッチングし、除去して、前記下部電極と前記上部電極との間に空隙を形成する工程とを有することを特徴とする振動素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は振動素子に関し、特にマイクロマシン技術を応用して気体の圧力や物体の歪を検出するために利用される振動素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、マイクロマシン技術を応用して検出素子に電子回路を組み込んだ小型で高性能のセンサが実現されてきている。そのようなセンサのひとつとして、気体の圧力や物体の歪を検出するため、圧電振動子の原理を応用した振動素子に電子回路を組み込んで構成したセンサがある。

【0003】図 12 は、そのような圧電振動子の原理を応用した振動素子の構造を示す。図 12 (a) は上面図、図 12 (b) は同図 (a) の A-A 線で切断した断面図である。基板 21 上に形成された絶縁膜 22 の表面に下部電極 23 が形成され、その下部電極 23 の上方に下部電極 23 に対向して、弾性を有する上部電極 24 が形成されている。上部電極 24 は幅約 100  $\mu\text{m}$ 、長さ約 250  $\mu\text{m}$ 、厚さ約 1  $\mu\text{m}$  を有し、下部電極 23 と上部電極 24 との間には約 1  $\mu\text{m}$  の空隙 25 が形成されている。また、上部電極 24 の両端部は絶縁膜 22 に固定され、その中央部分は上下に振動する振動部 24b となっている。

【0004】このような振動素子では、下部電極 23 と上部電極 24 との間に電圧を印加することによって、下部電極 23 および上部電極 24 に異なる極性の電荷が帯

電して両電極間に静電引力が生じる。また同時に、この静電引力による変形により、上部電極 24 には静電引力に対応して静電引力とは逆方向の弾性応力が生じる。したがって、下部電極 23 と上部電極 24 に印加する電圧を時間的に変化させると、その電圧変化により上部電極 24 の振動部 24 b が振動する。

【0005】また、振動部 24 b は、その長さ、重量、張力、弾性などのパラメータに依存する機械的な固有振動を有し、下部電極 23 と上部電極 24 に印加する電圧の周波数をその固有振動に合わせることで、振動部 24 b を特定の周波数で共振させることができる。更に、上部電極 24 に掛かる張力が変化して振動部 24 b の固有振動が変化すると、振動部 24 b の共振状態は変化し、振動の振幅や周波数が変化する。

【0006】したがって、逆に振動部 24 b の振幅や振動周波数を求めることによって、振動部 24 b の振動状態を決めるさまざまなパラメータの値を導出することができ、振動部 24 b の振動に関する物理的な値を測定することができる。たとえば、図 12 に示すような振動素子を利用して気体の圧力を測定することができる。

【0007】即ち、図 12 の振動素子では、下部電極 23 と振動部 24 b と間の空隙 25 の厚さが振動部 24 b の幅と比べて非常に小さいので、図 12 の振動素子が空气中に置かれている場合、振動部 24 b が振動する際のポンプ作用によって空隙 25 中を横方向に移動する空気の流れは極めて大きくなり、振動部 24 b の振動の振幅や周波数は、その空隙 25 にある空気の流れの影響を大きく受ける。

【0008】空気などの気体の粘性率は、その気体の温度の上昇および圧力の上昇に応じて高くなるため、気体の粘性率と温度を測定することによって、その気体の圧力を求めることができる。したがって、振動部 24 b の振動の振幅や周波数を検出し、これらから振動部 24 b の周囲の空気の流れを求めて、その粘性率と空気の流れからその空気の流れを測定することができる。

【0009】図 2 (b) は、図 12 に示した振動素子の振動部 24 b の振動振幅と気体の圧力との関係を表す特性図である。この特性図において、縦軸が振動部 24 b の振幅、横軸が振動部 24 b の周囲の空気の流れを表す。この特性図より、上部電極 24 の振動部 24 b の振動は、空気の流れがある値になるまでは振動部 24 b の固有振動による一定の値  $A_m$  に維持されるが、圧力が一定の値を越えると、圧力の上昇に反比例して減少し始め、圧力  $P_0$  近くで 0 になる。 $P_0$  は大気圧よりも低い値に相当する。即ち、このような従来の振動素子を利用する圧力検出装置は、1 気圧より低い気体の圧力でしか使用できない。

【0010】また、図 12 の振動素子を応用した別の測定装置として歪検出装置がある。歪検出装置は、基板 21 は歪みを測定すべき物体の表面に固着されており、物

体の伸縮によって変化する振動部 24 b の張力を振動部 24 b の振幅あるいは振動周波数から求め、その張力の変化から基板 21 が固着された物体の歪を検出する。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来の振動素子は、周囲の気体の圧力が 1 気圧よりも低いときにしか振動部が振動しないため、減圧環境下でしか使用できない。従って、圧力検出装置の測定圧力範囲が限定され、用途が限られてしまう。また、振動素子を歪検出装置に利用する場合には、振動素子を大気中に置くと振動部の振動が微弱になるかまたは振動が止まってしまう、歪の測定誤差が大きくなったり、ときには全く測定できなくなって使用できなくなるという問題もあった。

【0012】そのため、振動素子を歪検出装置として動作させるためには、振動素子を機密容器に入れて内部を真空かまたは減圧状態にしなければならないため、装置が大型化するという不都合があった。本発明は、係る従来の問題点を鑑みて創作されたもので、感度を低下させることなく、検出可能な圧力範囲及び動作可能な圧力範囲を高圧側に広げることができる圧電振動子の原理を応用した振動素子を提供することを目的とするものである。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題は、第 1 に、基板と、前記基板上に形成された下部電極と、前記下部電極上に空隙を介して対向し、両端部が前記基板上に固定された、貫通孔を有する上部電極と、前記上部電極を振動させる駆動手段と、前記上部電極の振動の振幅または周波数を検出する検出手段とを有することを特徴とする振動素子によって達成され、第 2 に、前記貫通孔の平面形状は、円形、楕円形、方形又はこれらの組み合わせであることを特徴とする第 1 の発明に記載の振動素子によって達成され、第 3 に、前記上部電極における前記貫通孔の配置は、千鳥状、格子状、環状又は放射状であることを特徴とする第 1 の発明に記載の振動素子によって達成され、第 4 に、前記上部電極の材料は、多結晶シリコン、単結晶シリコン、ポリサイド、高融点金属又は銅であることを特徴とする第 1 の発明に記載の振動素子によって達成され、第 5 に、前記駆動手段と前記検出手段により誘導型発振回路が構成されることを特徴とする第 1 の発明に記載の振動素子によって達成され、第 6 に、前記下部電極は、前記駆動手段に接続された駆動電極と、前記検出手段に接続された検出電極とに分離していることを特徴とする第 1 の発明に記載の振動素子によって達成され、第 7 に、前記駆動手段は前記下部電極と前記上部電極間に一定の周期で変動する電圧を印加する手段であり、前記検出手段は前記下部電極と前記上部電極間に直流電圧を印加して前記振動による電流を検出する手段であることを特徴とする第 6 の発明に記載の振動素子に

よって達成され、第 8 に、第 5 の発明に記載の誘導型発振回路により前記上部電極の機械的振動と電氣的振動を共振状態にして前記上部電極の振動の振幅又は周波数を検出することを特徴とする振動素子の使用方法によって達成され、第 9 に、第 7 の発明に記載の振動素子を用い、前記検出手段により前記検出電極に流れる電流値の変動を検出し、前記駆動手段により前記検出手段が検出した電流値の変動の周期に対応して変動する電圧を前記駆動電極に印加して前記上部電極の機械的振動と電氣的振動を共振状態にし、前記上部電極の振動の振幅又は周波数を検出することを特徴とする振動素子の使用方法によって達成され、第 10 に、第 7 の発明に記載の振動素子を用い、前記駆動手段により一定の周期で変動する電圧を前記駆動電極に印加し、前記検出手段により前記検出電極に流れる電流値の変動を検出して、前記上部電極の振動の振幅又は周波数を検出することを特徴とする振動素子の使用方法によって達成され、第 11 に、前記駆動手段により前記一定の周期で変動する電圧に直流電圧を重ねることを特徴とする第 8、第 9 又は第 10 の発明のいずれかに記載の振動素子の使用方法によって達成され、第 12 に、前記検出手段が検出した前記上部電極の振動の振幅又は周波数から前記上部電極の周囲の気体の粘性率を導出し、前記粘性率に基づいて前記上部電極の周囲の気体の圧力を求めることを特徴とする圧力検出方法によって達成され、第 13 に、前記検出手段が検出した前記上部電極の振動の振幅または周波数から前記上部電極の応力を導出し、前記応力から前記基板或いは前記基板が設置された被測定体の歪みを求めることを特徴とする歪み検出方法によって達成され、第 14 に、基板上に下部電極を形成する工程と、前記下部電極を被覆して前記基板上に犠牲膜を形成する工程と、前記犠牲膜をパターンニングして、前記下部電極上及びその周辺部に前記犠牲膜を残す工程と、前記犠牲膜を被覆して前記基板上に導電層を形成する工程と、前記導電層をパターンニングして、前記下部電極と対向し、両端部が前記基板と接する上部電極を形成するとともに前記上部電極に貫通孔を形成する工程と、前記犠牲膜をエッチングし、除去して、前記下部電極と前記上部電極との間に空隙を形成する工程とを有することを特徴とする振動素子の製造方法によって達成される。

#### 【0014】

【作用】本発明の振動素子によれば、基板上の下部電極と空隙を介して対向する上部電極が形成され、かつ上部電極は貫通孔を有する。また、上部電極を振動させる駆動手段と、上部電極の振動の振幅あるいは周波数を検出する検出手段が設けられている。

【0015】駆動手段として、例えば、下部電極と上部電極の間に一定の周期で変動する電圧を印加する手段を用いることにより、電圧印加すると下部電極と上部電極の間に静電引力が生じるとともに、その静電引力とそれ

に応じた上部電極の弾性応力とによって上部電極が振動する。このとき、上部電極には貫通孔が形成されているため、空隙にある気体は上部電極の振動のポンプ作用によって下部電極と上部電極間の空隙内を横方向に移動するとともに、貫通孔を通流して上部電極の上方に移動する。

【0016】従って、空隙内を横方向に流れて上部電極の振動に影響を与える気体の量が相対的に減少し、上部電極の振動に対する気体の粘性の影響が低下する。このため、より高い気圧においても上部電極の振動板としての動作が可能になる。しかも、貫通孔の大きさや数量を制限することにより、単に上部電極の幅を狭くした場合と異なり、上部電極の機械的な弾性や対向する電極面積による電氣的な容量をあまり低下させずに済む。これにより、振動の振幅や感度（共振時の増幅度或いは選択度  $Q$  に相当する。）の低下を防止することができる。

【0017】従って、このような振動素子を気圧の検出に応用することによって、従来の振動素子を利用したものよりも高い気圧を検出することが可能になる。また、このような振動素子を基板の歪の検出に応用すると、大気圧中でも振動素子が動作するようになるので、減圧容器に封入することなく歪検出装置を動作させることができる。

【0018】更に、上部電極の貫通孔の形状を、円形、楕円形、方形などの形状にすることにより、振動に伴って貫通孔を通流する気流の抵抗を低くし、更に、その配置を千鳥状、格子状、環状、放射状にすることにより、振動に伴って空隙を通流する気流の移動方向に沿って貫通孔が存在するようになり、気体を空隙から外部に滞りなく放出することができる。

【0019】従って、貫通孔を形成することによってもたらされる気体の粘性の緩和効果を均一化するとともに、貫通孔を形成することによる上部電極の弾性低下を均一化することができる。これにより、上部電極の振動を安定させることができる。また、本発明の振動素子の使用方法によれば、上部電極の機械的振動と電氣的振動を共振状態にして上部電極の振動の振幅又は周波数

( $f$ ) を検出している。従って、振動により発生する誘導成分の  $2\pi f$  倍の増幅度及び選択度が得られるため、感度が高い。

【0020】更に、共振状態にしくなくても、単に所定の周期で振動する電氣的振動に従って機械的振動を起こさせることにより、振動する上部電極と下部電極間に流れる容量性の電流を測定することによっても、上部電極の振動の振幅又は周波数 ( $f$ ) の検出を介して気圧や歪みを検出することができる。この場合にも、上部電極は貫通孔を有するため、高い気圧中で振動素子の使用が可能である。

【0021】また、交流電圧の印加のみの場合、下部電極と上部電極間の静電引力による上部電極の振動の周波

数は印加電圧の変動周期の2倍の周波数が主となるが、直流電圧の重畳により印加電圧の変動周期に一致した周波数で振動する周波数成分が主となる。従って、電極間に流れる電流の周波数も印加電圧の変動周期と一致した周波数が主となるため、電気振動と機械振動が同じ周波数で発生する。これにより、直流重畳の無い場合に必要な周波数変換回路が不要となり、簡単な電子回路で共振状態にすることが可能である。

【0022】更に、本発明の振動素子の製造方法においては、上部電極をパターニングする際に上部電極の貫通孔も同時に形成している。従って、上部電極に貫通孔を設けるための特別な工程は必要としない。また、上部電極下の犠牲膜をエッチング液などでエッチングする際に、エッチング液が貫通孔からも犠牲膜に作用するので、エッチング処理時間を大幅に短縮することができる。

【0023】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例について説明する。

(1) 本発明の第1の実施例に係る振動素子を利用した圧力検出装置に関する説明

図1は、本発明の第1の実施例に係る振動素子の構造を示し、図1(a)は上面図、図1(b)は図1(a)のB-B線で切断した断面図である。

【0024】シリコンなどの半導体基板1上に、厚さ約600nmの酸化シリコン層2bと、厚さ約100nmの窒化シリコン層2aとからなる2層の絶縁膜2が形成されている。絶縁膜2の表面には、約400nmの多結晶シリコンからなる下部電極3が形成され、この下部電極3の上方に下部電極3に対向して、幅(W)、厚さ(h)の多結晶シリコンからなる上部電極4が設けられている。

【0025】上部電極4は、図1(a)に示したように、幅(W)約100μm、厚さ(h)約1μmのリボン状を有し、弾性を有する。また、その長手方向の両端部は絶縁膜2の表面に固定され、その中央部分は厚さ(d)の空隙5を介して下部電極3と対向している。その中央部分は特定の振幅および周波数の固有振動を有する振動部4aになる。

【0026】この振動部4aには、直径aの円形状の貫通孔4bが上部電極4の長手方向に互いに間隔bだけ離間して3個形成されている。なお、それぞれの貫通孔4bの直径aは、貫通孔を通流する気流があまり抵抗を受けないように振動部4aの厚さ(d)の1/2より大きいことが好ましい。上記で説明した振動素子が気体中に置かれている場合、例えば、振動部4aの固有振動に対応する周波数の交流電圧を下部電極3と上部電極4に印加すると、下部電極3と上部電極4間に生じる静電引力による振動と、その静電引力の振動に応じた上部電極4の弾性応力による振動との相互作用により、振動部4a

は共振状態となって特定の振幅と周波数で振動する。

【0027】このとき、上部電極に振動により発生した誘導成分の $2\pi \times$ 周波数倍に比例して感度が向上する。このとき、この振動部4aの振動は、図12に関連して従来の技術の説明で述べたように、上部電極4と下部電極3の間の空隙5にある気体の粘性の影響を受け、気体の粘性率に応じて振動の振幅および周波数が決まる。これは、空隙5にある気体が振動部4aの振動によって振動部4aの横方向に移動し、その移動する気体の粘性抵抗によって振動部4aの振動が影響を受けるからである。

【0028】しかし、図1に示した振動素子の振動部4aには貫通孔4bが設けられているため、空隙5にある気体は振動部4aの平面方向に移動するとともに、貫通孔4bを介して空隙5から放出される。従って、空隙5を横方向に流れて上部電極4の振動に影響を与える気体の量が相対的に減少し、上部電極4の振動に対する気体の粘性の影響が低下する。このため、振動部4aの振動が影響を受けるようになる最低の気圧は、振動部4aに貫通孔4bがない場合よりも高くなるとともに、上部電極4による振動板としての動作は更に高い気圧においても可能になる。しかも、貫通孔4bの大きさや数量を制限することにより、単に上部電極4の幅を狭くした場合と異なり、上部電極4の機械的な弾性や対向する電極面積による電気的な容量をあまり低下させずに済む。従って、振動の振幅や感度(共振時の増幅度或いは選択度Qに相当する。)の低下を防止することができる。

【0029】図2(a)は、この振動部4aの振幅と気体の圧力との関係を表す特性図である。この特性図において、縦軸は振動部4aの振幅、横軸は振動部4a周囲の気体の圧力を示す。この特性図から明らかなように、従来の振動素子の圧力と振幅の関係を示した図2(b)と比較すると、振動部4aの振幅が減少し始める圧力は高くなっており、それにとまって検出限界振幅A0となる圧力および振動が停止する圧力も高くなっている。具体的には、大気圧P0の前で振幅が圧力に比例して変化しており、この振動素子を用いて大気圧前後の気体の圧力を測定することができる。

【0030】本実施例に係る振動素子の振動部4aの貫通孔4bは、様々な平面形状が可能であり、その具体例を図3に示す。図3に示すように、その平面形状は図3(a)に示す円形と図3(b)に示す正方形が基本となっているが、それらを組み合わせた図3(c)～(e)に示した形状でもよい。また貫通孔の大きさは、振動部に設けられる貫通孔の数にもよるが、それぞれの図において直径aで示した長さが、振動部の厚さの1/2よりも大きな値となるようにすることが好ましい。

【0031】また、振動部の貫通孔の配置はさまざまな配置が可能である。振動部に貫通孔が設けられると、その貫通孔を介して空隙中の気体が通流するとともに、貫



通孔を開けた振動部の部分の弾性が低下するため、貫通孔は一定の規則性をもって配置されることが好ましい。たとえば、空隙を横方向に気流が移動する方向と一致する方向に沿って配置されることが好ましい。図 4 (a) ~ 図 4 (d) にそれぞれ示すように、格子状、千鳥状、環状及び放射状が考えられる。

【0032】このように、規則性をもたせて配置することにより、振動部の周囲の気体の粘性による影響の減少および弾性の低下を均一化することができる。また、振動部における貫通孔の数が多すぎると、振動部の弾性が小さくなりすぎて振動素子の特性が損なわれるので、貫通孔の大きさと個数の積を、測定する気圧の範囲に応じた適切な値にすることが好ましい。

【0033】次に、以上説明した振動素子の製造方法について説明する。図 5 (a)、(b)、図 6 (a)、

(b) はそれぞれ振動素子の製造方法の各工程を示す。図 5 (a) 及び図 6 (a) は上面図、図 5 (b) 及び図 6 (b) はそれぞれ図 5 (a) の C-C 線及び図 6

(a) の D-D 線で切断した断面図である。まず、図 5 (a) に示すように、シリコンの基板 1 表面に約 600 nm の酸化シリコン層 2a と約 100 nm の窒化シリコン層 2b とを順次形成して 2 層の絶縁膜 2 とする。窒化シリコン層 2b は、後の工程で行われるエッチングのマスクとしても作用する。

【0034】次いで、窒化シリコン層 2b 上に膜厚約 400 nm の多結晶シリコン膜を形成した後、パターニングする。これにより、下部電極 3 が形成される。次に、下部電極 3 を覆う厚さ約 1  $\mu$ m の PSG 膜を形成し、空隙を形成するためのエッチングの際の犠牲酸化膜 6 を形成する。次いで、図 6 (a) に示すように、犠牲酸化膜 6 上に厚さ約 1  $\mu$ m の多結晶シリコン膜を形成した後、パターニングして上部電極 4 を形成する。この上部電極 4 のパターニングの際に貫通孔 4a も同時にパターニングする。これにより、製造工程を複雑にすることなく、貫通孔 4a を有する上部電極 4 を形成することができる。なお、この上部電極 4 の材料としては、多結晶シリコンの他、ポリサイド、タングステン等の高融点金属、単結晶シリコン、銅などが好ましい。

【0035】上部電極 4 のパターニング後、フッ酸などのエッチング液により、犠牲酸化膜 6 をサイドエッチして除去する。このとき、エッチング液が貫通孔 4a から犠牲酸化膜 6 に作用するので、犠牲酸化膜 6 を除去するエッチング時間を大幅に短縮することができる。こうして犠牲酸化膜 6 が除去されると、上部電極 4 は下部電極 3 と離間した状態で配設され、図 1 に示したような振動素子を形成することができる。

【0036】次に、本発明の振動素子を利用して気圧を測定するための電子回路について説明する。図 7 ~ 図 9 はそれぞれ振動素子を駆動し信号を検出するための異なる回路構成を示す。図 7 (a)、図 8 (a)、図 9

(a) は振動素子に接続された電子回路の概略的な構成を示すブロック図、図 7 (b)、図 8 (b)、図 9

(b) はその電子回路の具体的な回路例である。

【0037】まず、図 7 (a)、(b) は、誘導型発振回路を示す。この場合には、図 7 (a) に示すように、振動素子の下部電極と上部電極の間に誘導型発振回路が接続されている。これは水晶発振回路に利用されるものと同様のものであり、振動素子の上部電極と下部電極に電圧を印加して上部電極を共振状態にし、上部電極の機械的な振動を電気的な振動に関係するインダクタンスとして検出するものである。図 7 (b) の回路例において、INV1、INV2 はインバータを表し、TFG はトランスファークロークによるスイッチ素子を表す。

【0038】図 8 (a)、(b) は、ループ型発振回路を示す。図 8 (a) に示すように、発振素子の下部電極を 2 つ設け、それぞれを利用して上部電極を振動させるための駆動回路と上部電極の振動の状態を検出するための検出回路を接続している。このループ型発振回路は、上部電極が振動する際に上部電極と下部電極との間の静電容量が変動する性質を利用したものであり、上部電極を共振状態にし、両電極間に流れる電流を検出することにより両電極間の間隔を求め、上部電極の振幅を導出する。具体的には、I-V 変換回路による検出回路と検出回路の出力を増幅・位相調整する電圧増幅回路による駆動回路から構成される。図 8 (b) の回路例において、R1、R2、R3、R4、Rf1 および Rf2 は抵抗を表し、C1 と C2 はコンデンサを表し、OP1 と OP2 はオペアンプを表す。

【0039】図 9 (a)、(b) は、振幅検出回路を示す。図 8 (a) に示した例と同様に、発振回路の下部電極を 2 つ設け、それぞれを利用して、上部電極を振動させるための駆動回路と上部電極の振動振幅を検出するための検出回路をそれぞれ独立して接続している。この振幅検出回路は、駆動回路で一定周波数の交流電圧を発生して下部電極および上部電極に印加し、上部電極を固有振動とは無関係に一定周波数で振動させる。そして、検出回路内の I-V 変換回路によって下部電極と上部電極間に流れる電流値を求め、上部電極の振動振幅を導出する。図 9 (b) の回路例において、R1、R2、R3、R4、Ri、Rf1 および Rf2 は抵抗を表し、C1 と C2 はコンデンサを表し、OP1、OP2 および OP3 はオペアンプを表す。

【0040】このように、図 7 ~ 図 9 に示した構成の電子回路によって、振動素子の上部電極を振動させてその振幅を検出することができ、その振幅のデータから上部電極周囲の気体の粘性率を求め、気体の圧力を測定することができる。また、上記の図 7 ~ 図 9 のそれぞれの電子回路において、上部電極を振動させるために下部電極と上部電極に印加する正弦波電圧に、一定の直流電圧を重ねることが好ましい。これは、下部電極と上部電極

に周波数  $f$  の正弦波電圧を印加した場合、静電引力による上部電極の振動周波数は印加した電圧周波数の2倍の周波数 ( $2f$ ) 成分が主となるが、直流電圧の重畳により電圧周波数で振動する周波数 ( $f$ ) 成分が主となり、従って、電極間に流れる電流の周波数も印加電圧の変動周期と一致した周波数が主となるため、直流重畳の無い場合に必要周波数変換回路が不要となり、簡単な電子回路で共振状態にすることが可能になるからである。

【0041】図10は、以上説明した振動素子を利用した圧力検出装置の全体の構成を概略的に表した断面図である。基板1に積層された絶縁膜2上に、下部電極3とこの下部電極3上に空隙5を介して対向する上部電極4が形成されている。上部電極4は貫通孔4aを有する。これらが振動素子部を構成する。

【0042】この振動素子部に、図7ないし図9と関連して説明した駆動回路と検出回路からなる電子回路部7が一体的に構成されている。実際にはこの電子回路7は、振動素子のシリコン基板1 (図1) にじかに形成することもできるし、振動素子とは別に設けてもよい。この振動素子部分と電子回路部7は容器8に收容されており、容器8には容器8内部の気体の圧力を調整するための排気口/ガス導入口9と、電子回路部7に電源を接続し、または検出した信号を取り出すための端子10が設けられている。

【0043】したがって、マイクロマシン技術によって振動素子部と電子回路部7とを一体的に構成して小型化された圧力検出装置において、上部電極4に設けられた貫通孔4aにより、検出すべき気体の圧力の範囲を調整することができるので、大気圧など高くかつ広範囲の気圧を検出することができる。

(2) 本発明の第2の実施例に係る振動素子を利用した歪検出装置の説明

本発明の振動素子を利用して、物体の歪を検出するための歪検出装置を構成することもできる。

【0044】図11は、そのような歪検出装置の構成を概略的に示す断面図である。用いられる振動素子の基本的な構成は、第1の実施例の圧力検出装置で使用した振動素子の構成と同じである。即ち、基板表面に絶縁層12が形成され、その絶縁層12上に下部電極3が形成され、かつその下部電極3と空隙5を介して対向する上部電極4が形成されている。上部電極4は貫通孔4aを有する本実施例が第1の実施例と異なる点は、絶縁膜12を形成した300 $\mu$ m程度の厚さのシリコンなどの基板11の中央に、空洞部11aが設けられており、この基板11が空洞部11aの両側の部分によって、歪を測定する鉄などの被測定体13に固定されている点である。

【0045】このような構成により、被測定体13が例えば矢印E、Fの方向に伸びて膨脹するような歪が生じた場合は、被測定体13の伸びによって基板11の空洞部11aの両側の部分が矢印E、Fと同じ両方向に引

張られる。このとき、空洞部11aの上の基板11部分は薄く形成されているので、基板11の空洞部11aの両側は両方向に容易に伸ばられ、基板11に絶縁膜12を介して固定された上部電極4の支持部も矢印E、Fと同じ両方向に伸ばられる。上部電極4の支持部が両方向に伸ばられると、上部電極4の振動部4bの張力が大きくなって、振動部4bの振動の振幅および周波数が変化する。したがって、被測定体13の歪と対応して変化する上部電極4の振動部4a振動の振幅または周波数を検出することにより、被測定体13の歪を求めることができる。

【0046】なお、上記の実施例では、被測定体13の歪力による歪みを求めているが、圧縮応力やねじれによる歪みについても上記と同様に求めることができる。以上のように、従来の構造を有する振動素子を利用した歪検出装置では、振動素子は減圧状態に維持しなければならなかったが、本発明の振動素子においては大気圧雰囲気でも使用することができるので、雰囲気を減圧するために密閉容器に入れる必要はなく、歪検出装置を大幅に小型化することができる。

【0047】

【発明の効果】以上のように、本発明の振動素子によれば、基板表面の下部電極と空隙を介して対向する上部電極が形成され、かつ上部電極は貫通孔を有する。また、上部電極を振動させる駆動手段と、上部電極の振動の振幅あるいは周波数を検出する検出手段を設けている。

【0048】したがって、駆動手段により上部電極が振動すると、上部電極には貫通孔が形成されているため、空隙にある気体の一部は貫通孔から上部電極の上方に移動する。このため、気体の粘性の影響が低下し、より高い気圧においても上部電極による振動板としての動作が可能になる。しかも、貫通孔の大きさや数量を制限することにより、単に上部電極の幅を狭くした場合と異なり、上部電極の機械的な弾性や対向する電極面積による電気的な容量をあまり低下させずに済む。これにより、振動の振幅や感度の低下を防止することができる。

【0049】従って、このような振動素子を気圧の検出に応用することによって、従来の振動素子を利用したものよりも高い気圧を検出することが可能になる。また、このような振動素子を基板の歪の検出に応用すると、大気圧中でも振動素子が作動するようになるので、減圧容器に封入することなく歪検出装置を動作させることができる。

【0050】更に、本発明の振動素子の使用方法によれば、上部電極の機械的振動と電気的振動を共振状態にして上部電極の振動の振幅又は周波数 ( $f$ ) を検出しているため、感度が高い。また、共振状態にしくなくても、上部電極の振動の振幅又は周波数 ( $f$ ) の検出を介して気圧や歪みを検出することができる。この場合にも、上部電極は貫通孔を有するため、高い気圧中で振動素子の使



用が可能である。

【0051】更に、上部電極の静電引力による振動周波数は、直流電圧の重畳により印加電圧の変動周期と一致した周波数成分が主となる。これにより、直流重畳の無い場合に必要な周波数変換回路が不要となり、簡単な電子回路で共振状態にすることが可能になる。また、本発明の振動素子の製造方法によれば、上部電極をパターンニングする際に上部電極の貫通孔も同時に形成しているので、貫通孔の形成のための特別な工程を必要としない。

【0052】更に、犠牲膜をエッチングする際に、エッチング液が貫通孔からも犠牲膜に作用するので、エッチング処理時間を大幅に短縮することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る振動素子の構造を示す平面図及び断面図である。

【図2】本発明の第1の実施例に係る振動素子の振動部の振幅と振動部周囲の気圧との関係を示す特性図である。

【図3】本発明の実施例に係る振動素子の上部電極に設けられる貫通孔の平面形状を示す平面図である。

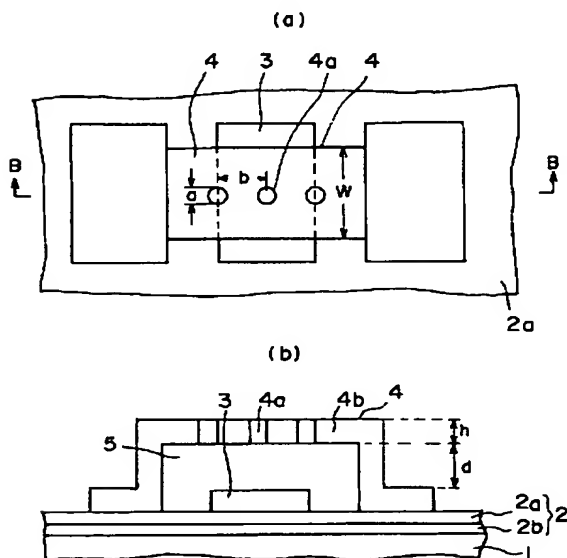
【図4】本発明の実施例に係る振動素子の上部電極に設けられる貫通孔の配置を示す平面図である。

【図5】本発明の実施例に係る振動素子の製造方法の一工程を示す平面図及び断面図（その1）である。

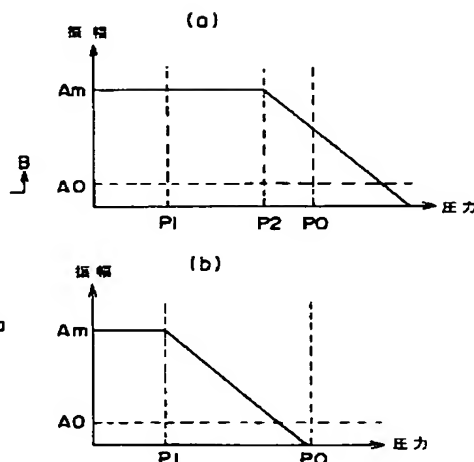
【図6】本発明の実施例に係る振動素子の製造方法の一工程を示す平面図及び断面図（その2）である。

【図7】本発明の実施例に係る振動素子を動作させるための振動素子の各電極との接続関係を示すブロック図及び接続配線図である。

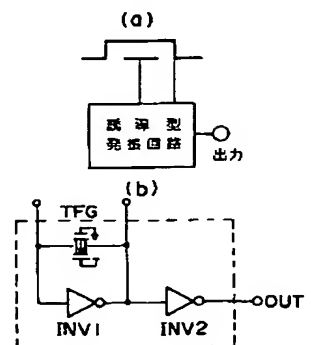
【図1】



【図2】



【図7】



【図8】本発明の実施例に係る振動素子を動作させるための振動素子の各電極との接続関係を示すブロック図及び接続配線図である。

【図9】本発明の実施例に係る振動素子を動作させるための振動素子の各電極との接続関係を示すブロック図及び接続配線図である。

【図10】本発明の第1の実施例に係る振動素子を利用した圧力検出装置の概略的な構造を示す断面図である。

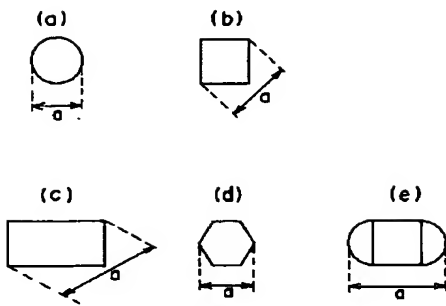
【図11】本発明の第2の実施例に係る振動素子を利用した圧力検出装置の概略的な構造を示す断面図である。

【図12】従来例に係る振動素子の構造を示す平面図及び断面図である。

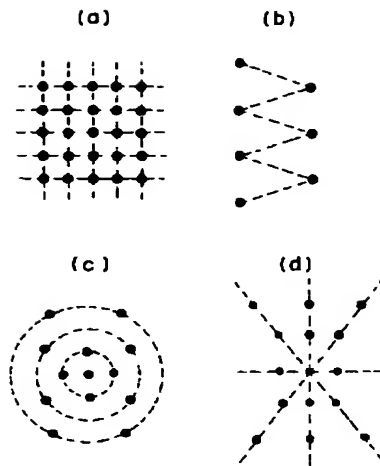
#### 【符合の説明】

- 1、11、21 基板、
- 2、12、22 絶縁膜、
- 2a 窒化シリコン層、
- 2b 酸化シリコン層、
- 3、23 下部電極、
- 4、24 上部電極、
- 4a、24a 振動部、
- 5、25 空隙、
- 6 犠牲酸化膜、
- 7 電子回路部、
- 8 容器、
- 9 排気口／ガス導入口、
- 10 端子、
- 11a 空洞部、
- 13 被測定体。

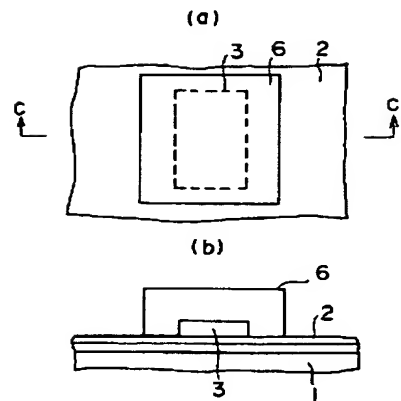
【図3】



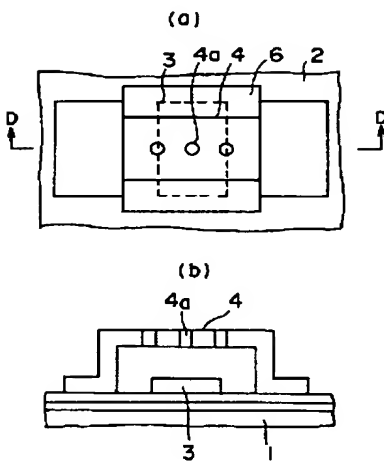
【図4】



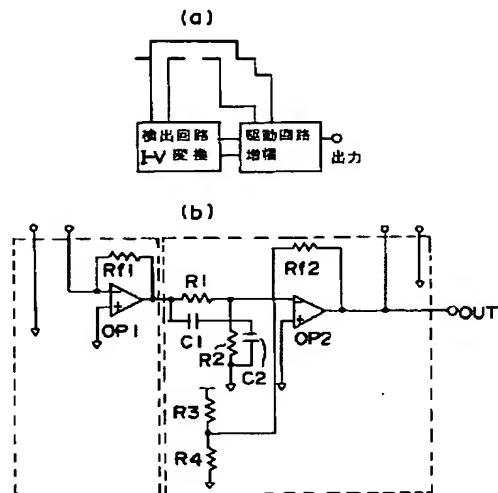
【図5】



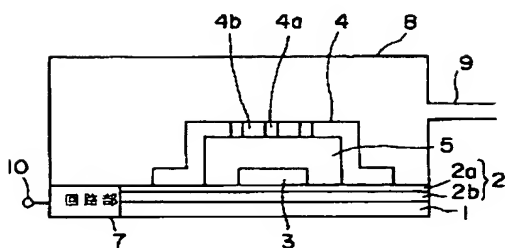
【図6】



【図8】



【図10】



【図11】

